

Рис. 5. Линейные перемещения точек модели вдоль оси X шпинделя в мм

В результате расчета в Менеджере COSMOSWorks создана папка Thermal (Тепловой), в которой были представлены следующие диаграммы: градиент температуры вдоль X, Y, Z; полный градиент; тепловой поток вдоль X, Y, Z; полный тепловой поток; напряжения, деформации, перемещения. С использованием опции Selected reference geometry могут быть отображены градиенты температуры и компоненты теплового потока относительно произвольной ортогональной или цилиндрической системы координат.

Проведенные результаты теплового расчета вертикального шпинделя станка 6Т80Ш показали, что максимальная температура шпинделя при установившемся режиме холостого хода составляет $T_{\max}=26^{\circ}\text{C}$, минимальная температура $T_{\min}=24^{\circ}\text{C}$ (рис. 4).

Максимальное перемещение вдоль оси X $\Delta X_{\max}=24,9$ мкм получают точки, расположенные на передней торцевой поверхности шпинделя (рис. 5).

Максимальное перемещение вдоль оси Y $\Delta Y_{\max}=9,0$ мкм получают точки, расположенные на цилиндрической поверхности большего диаметра, вблизи источника тепловыделения. Минимальное перемещение $\Delta Y_{\min}=4,2$ мкм получают точки, расположенные на цилиндрической поверхности меньшего диаметра. Полученные результаты расчетного анализа показывают хорошее согласование с

экспериментальными замерами температуры и смещений после стабилизации теплообмена в ШУ через 40 минут работы станка на холостом ходу [3].

Заключение. Разработанная методика позволяет визуализировать тепловые поля и деформации исследуемого ШУ для различных режимов теплового процесса. Результаты расчетов хорошо согласуются с опытными данными, что позволяет рекомендовать методику для сравнительного анализа проектируемых вариантов ШУ.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алямовский, А.А. SolidWorks/CosmosWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 С.
2. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: справочник-учебник. – В 3-х т. / Под общ. ред. А.С. Проникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана: Машиностроение, 1995. – Т. 2., Ч. 2. Расчет и конструирование узлов и элементов станков – 671 С.
3. Григорьев, В.Ф. Исследование тепловых процессов в шпиндельном узле фрезерного станка / В.Ф. Григорьев, В.П. Горбунов, С.В. Архутик // Вестник БрГТУ. – 2010. – №4(64): Машиностроение – С. 80–84.

Материал поступил в редакцию 23.01.11

GRIGORIEV V.F., GORBUNOV V.P., ARCHUTIK S.V. Features of research of thermal deformations spindle units with use of system of certain-element calculations

On an example spindle units of the konsolno-milling machine tool of vertical configuration features of a technique of an estimation of temperature fields and temperature deformations with use of the module of thermal analysis COSMOSWorks are shown.

The developed technique allows to analyze thermal fields and deformations investigated spindle units for various modes of thermal process. Results of calculations will well be co-ordinated with the skilled data that allows to recommend it for the comparative analysis of projected variants spindle units.

УДК 629.113:004.94

Монтик С.В.

АНАЛИЗ МЕТОДИК МОДЕЛИРОВАНИЯ СРЕДСТВ ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Введение. При проектировании и реконструкции автотранспортных предприятий (АТП) возникает задача оптимизации средств обслуживания автомобилей, т.е. определение оптимального количества постов зон диагностирования, технического обслуживания (ТО),

текущего ремонта (ТР) автомобилей по критерию минимальных суммарных затрат на содержание производственного подразделения и потери прибыли от простоя автомобилей.

Наиболее широко используемыми методами моделирования для

Монтик Сергей Владимирович, к. т. н., доцент, зав. кафедрой технической эксплуатации автомобилей Брестского государственного технического университета.

Беларусь, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

оптимизации структуры средств обслуживания автомобилей являются теория массового обслуживания и имитационное моделирование.

Имитационное моделирование является численным методом определения параметров функционирования различных систем по многочисленным реализациям с учетом вероятностного характера протекания процесса. Преимущество имитационного моделирования заключается в том, что оно воспроизводит процесс функционирования системы во времени, при этом имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени.

Целью данной работы является анализ используемых методик моделирования средств обслуживания автомобилей и выбор оптимальной на примере моделирования зоны ТО автобусов МА3-103 комплексного автотранспортного предприятия.

Методика проведения исследований. Первоначально для определенного количества автобусов был выполнен технологический расчет и определено требуемое количество постов первого технического обслуживания (ТО-1) по методике, изложенной в [1, 2]. Расчет проводился для 40 автобусов МА3-103, III категория условий эксплуатации, климатический район – умеренно теплый, пробег с начала эксплуатации в долях от пробега до капитального ремонта (КР) (ресурса) – до 0,25. Режим работы зоны ТО: 252 дня в году, 1 смена. Также определялся такт поста $t_{п}$ и ритм производства $R_{п}$ по методике [3, 4]. Расчетное количество постов ТО-1 изменялось за счет изменения среднесуточного пробега автобусов при неизменном их количестве. Определялось также годовое количество ТО-1 (см. табл. 1).

Теория массового обслуживания использовалась для аналитического описания работы однопостовой зоны ТО-1. Данная зона ТО-1 моделировалась с помощью: 1) одноканальной разомкнутой системы массового обслуживания (СМО) с простейшими потоками; 2) одноканальной замкнутой СМО с простейшими потоками, по методике, изложенной в [5]. При этом рассматривался установившийся режим работы СМО, когда вероятностные характеристики системы постоянны во времени. Для разомкнутой СМО интенсивность поступления требований на обслуживание λ определялась как величина, обратная такту поста, а интенсивность обслуживания μ – как величина, обратная ритму производства. Для замкнутой СМО интенсивность поступления требований на обслуживание определялась как величина, обратная интервалу времени поступления автомобилей в ТО-1 $T_{ТО-ТО}$ (см. таблицу 1).

Таблица 1. Результаты технологического расчета зоны ТО-1 автобусов МА3-103

Расчетное число постов $X_{ТО-1}$, ед.	0,59	1,00	1,59	2,01	2,51	2,93	3,18
Годовое количество ТО-1 $N_{ТО-1г}$	188	292	468	594	761	883	959
Такт поста ТО-1 $t_{п}$, ч	5,35	5,35	5,35	5,35	5,35	5,35	5,35
Ритм производства $R_{п}$, ч	9,14	5,33	3,37	2,67	2,13	1,83	1,68
Интервал времени поступления автомобилей в ТО-1 $T_{ТО-ТО}$, ч	456	288	176	136	104	88	80

Определялись такие характеристики системы, как приведенная плотность потока требований ρ ; вероятность простоя канала обслуживания P_0 ; коэффициент использования K канала обслуживания (в данном случае поста ТО-1); среднее число обслуживаемых требований, находящихся в системе N_c (в данном случае – автобусов, которые ожидают выполнения ТО-1 или находящиеся в ТО-1); среднее число требований (автобусов), находящихся в очереди на обслуживание $N_{оч}$; среднее время нахождения требований в системе T_c .

Имитационное моделирование позволяет исследовать СМО при различных типах входных потоков и разной интенсивности поступления требований в систему, а также различных дисциплинах обслуживания требований. Для имитационного моделирования процес-

са функционирования зоны ТО-1, состоящей из одного, двух и трех постов, использовалась система GPSS World Student Version 5.2.2. При составлении имитационной модели процесса функционирования зоны ТО, зона ТО рассматривалась: первый вариант – в виде разомкнутой СМО с простейшими потоками; второй вариант – в виде замкнутой СМО с простейшими потоками. При этом предусматривалась возможность образования очереди. В дальнейшем из рассмотрения исключались варианты имитационных моделей, у которых средняя длина очереди превышала количество постов ТО, т.к. рекомендованное количество постов ожидания составляет 20% от количества рабочих постов [3, 4].

Для моделирования простейшего потока требований интервал времени между соседними событиями должен иметь показательное распределение [6]. Поэтому при имитационном моделировании зоны ТО, как разомкнутой СМО, интервалы времени поступления автомобилей на ТО задавались по экспоненциальному закону с математическим ожиданием, равным ритму производства, а интервалы времени на обслуживание одного автомобиля – также по экспоненциальному закону с математическим ожиданием, равным такту поста. Для определения показателей работы зоны ТО, как разомкнутой СМО, количество требований на обслуживание автомобилей, которые поступят в систему в процессе моделирования задавалось равным 1000, 10000.

При имитационном моделировании зоны ТО, как замкнутой СМО, использовался другой подход. Первоначально с помощью оператора GENERATE задавалось количество автомобилей в АТП. Затем выполняется задержка автомобиля на время выполнения транспортной работы до следующего ТО. Далее автомобиль проходит ТО и возвращается в систему для выполнения транспортной работы до следующего ТО. Цикл повторяется для каждого автомобиля в течение времени моделирования работы зоны ТО.

Интервалы времени поступления автомобилей на ТО задавались по экспоненциальному закону. Математическое ожидание интервалов времени поступления автобусов на обслуживание $T_{ТО-ТО}$ определялось исходя из количества дней, через которые автобус должен поступить на ТО-1, т.е. скорректированный пробег до ТО-1 делился на среднесуточный пробег автобуса, а затем полученное количество дней умножалось на время работы зоны ТО-1 в сутки (см. табл. 1). Время моделирования работы зоны ТО-1 составляло 2016 ч, что соответствовало времени работы зоны в течение одного года.

Имитационная модель процесса функционирования зоны ТО-1 из трех постов, как трехканальной замкнутой СМО с простейшими потоками, представлена на рис. 1.

Результаты вычислительного эксперимента и их обсуждение. Аналитический расчет параметров зоны ТО, как разомкнутой СМО, возможен только для случая, когда приведенная плотность потока требований $\rho < 1$, т.е. когда интенсивность поступления требований на обслуживание меньше интенсивности обслуживания. Это не позволяет выполнять оптимизацию зоны ТО с учетом простоя автомобилей в очереди. Расчет зоны ТО, как замкнутой СМО, возможен и при приведенной плотности потока требований $\rho > 1$, однако длина очереди при этом значительно превышает допустимую с практической точки зрения величину.

Расчитанные с помощью имитационного моделирования параметры функционирования однопостовой зоны ТО, как одноканальной СМО, практически совпадают со значениями аналитического расчета (см. табл. 2).

При применении имитационного моделирования работы зоны ТО, как разомкнутой СМО, интенсивность поступления требований не зависит от количества автомобилей, которые уже прошли ТО.

Имитационные модели разомкнутых СМО целесообразно использовать для моделирования работы автозаправочных станций и станций технического обслуживания автомобилей, т.к. при этом имитационные модели соответствуют логике функционирования реальных объектов во времени.

При имитационном моделировании функционирования зоны ТО, как многоканальной замкнутой СМО с простейшими потоками, в

```

INITIAL X$AVTO,40           ;задается количество автобусов - 40 ед.
INITIAL X$TIME_DO_TO,88     ;задается среднее значение интервала времени поступления автомобилей в ТО-1
INITIAL X$OBSL,5.35         ;задается среднее значение интервала времени обслуживания на посту ТО-1
INITIAL X$TIME_MODEL,2016   ;задается время моделирования зоны ТО-1 - 1 год: 252дней*8ч. = 2016 ч.
*****
INFORM1 QTABLE OCHER,0,2,1000 ; СБОР ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ГИСТОГРАММЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОЧЕРЕДИ
GENERATE ,,,X$AVTO           ; ГЕНЕРИРУЕТСЯ КОЛИЧЕСТВО АВТОМОБИЛЕЙ В СМО
WORK ADVANCE (EXPONENTIAL(1,0,X$TIME_DO_TO)) ; ЗАДЕРЖКА АВТОМОБИЛЯ НА ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ
; ТРАНСПОРТНОЙ РАБОТЫ ДО СЛЕДУЮЩЕГО ТО-1
; ПОСТАНОВКА АВТОМОБИЛЯ В ОЧЕРЕДЬ НА ТО-1
KAN1 QUEUE OCHER             ; ПЕРЕХОД НА СВОБОДНЫЙ ПОСТ ТО-1
TRANSFER ALL,KAN1,KAN3,5    ; ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАНЯТОСТИ ПОСТА №1, ЗАНЯТИЕ ПОСТА №1
SEIZE POST_1                ; ВЫХОД ИЗ ОЧЕРЕДИ НА ТО
DEPART OCHER                 ; ЗАДЕРЖКА АВТОМОБИЛЯ НА ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ТО
ADVANCE (EXPONENTIAL(1,0,X$OBSL)) ; ОСВОБОЖДЕНИЕ ПОСТА №1
RELEASE POST_1               ; ПЕРЕХОД НА МЕТКУ NEXT
TRANSFER ,NEXT              ; ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАНЯТОСТИ ПОСТА №2, ЗАНЯТИЕ ПОСТА №2
KAN2 SEIZE POST_2            ; ВЫХОД ИЗ ОЧЕРЕДИ НА ТО
DEPART OCHER                 ; ЗАДЕРЖКА АВТОМОБИЛЯ НА ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ТО
ADVANCE (EXPONENTIAL(1,0,X$OBSL)) ; ОСВОБОЖДЕНИЕ ПОСТА №2
RELEASE POST_2               ; ПЕРЕХОД НА МЕТКУ NEXT
TRANSFER ,NEXT              ; ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАНЯТОСТИ ПОСТА №3, ЗАНЯТИЕ ПОСТА №3
KAN3 SEIZE POST_3            ; ВЫХОД ИЗ ОЧЕРЕДИ НА ТО
DEPART OCHER                 ; ЗАДЕРЖКА АВТОМОБИЛЯ НА ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ТО
ADVANCE (EXPONENTIAL(1,0,X$OBSL)) ; ОСВОБОЖДЕНИЕ ПОСТА №3
RELEASE POST_3               ; ПЕРЕХОД НА МЕТКУ WORK
NEXT TRANSFER ,WORK          ; ЗАДАНИЕ ВРЕМЕНИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ
*****
GENERATE X$TIME_MODEL
TERMINATE 1
START 1

```

Рис. 1. Имитационная модель зоны ТО-1, как трехканальной замкнутой СМО с простейшими потоками, в среде GPSS World

полной мере отражается организация ТО автомобилей на АТП, которое обслуживает только свой подвижной состав: количество автомобилей при моделировании ограничено и задается первоначально; после обслуживания автомобиль возвращается к выполнению транспортной работы, а затем, после того, как его пробег будет соответствовать скорректированному пробегу до ТО, автомобиль поступает в зону ТО на обслуживание.

В результате имитационного моделирования зоны ТО, как многоканальной замкнутой СМО с простейшими потоками, были получены данные о количестве выполненных обслуживаний за время моделирования, коэффициенте использования постов, среднем времени обслуживания, средней длине очереди, среднем времени нахождения автомобилей в очереди.

Таблица 2. Результаты расчета параметров однопостовой зоны ТО-1 (расчетное количество постов ТО-1 $X_{ТО1} = 0,59$)

	Параметр	Аналитический метод	Имитационное моделирование
Разомкнутая СМО	λ , ч ⁻¹ (или $T_{\text{пост}}$, ч)	0,11	9,14
	μ , ч ⁻¹ (или $T_{\text{обсл}}$, ч)	0,19	5,35
	P_0	0,415	0,415
	K	0,585	0,585
	$N_{\text{оч}}$	0,825	0,743
	N_c	1,411	1,328
	T_c , ч	12,896	12,301
Замкнутая СМО	λ , ч ⁻¹ (или $T_{\text{пост}}$, ч)	0,0022	456
	μ , ч ⁻¹ (или $T_{\text{обсл}}$, ч)	0,19	5,35
	P_0	0,540	0,535
	K	0,460	0,465
	$N_{\text{оч}}$	0,361	0,341
	N_c	0,820	0,806
	T_c , ч	-	9,849

Зависимость средней длины очереди на обслуживание от требуемого расчетного количества постов и фактического количества постов в зоне ТО (см. рис. 2) позволяет выбрать структуру зоны ТО с требуемым количеством постов ожидания. Зависимости средней длины очереди на обслуживание и среднего значения коэффициента использования постов (рис. 3, 4) позволяют определять время простоя автомобиля в очереди и в обслуживании, а также время простоя постов ТО и в дальнейшем выполнять оптимизацию структуры зоны ТО по критерию минимальных суммарных затрат.

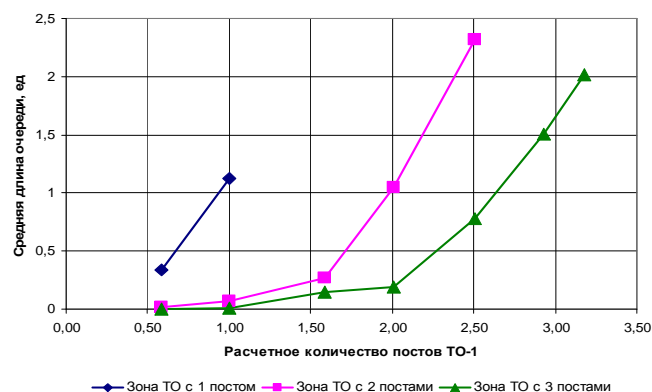


Рис. 2. Зависимость средней длины очереди на обслуживание от требуемого расчетного количества постов и фактического количества постов в зоне ТО

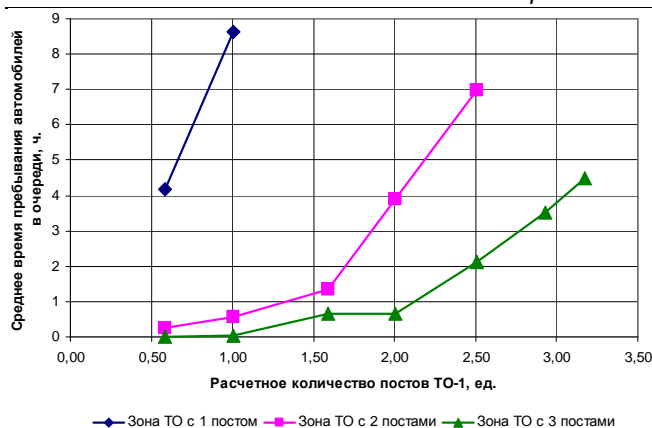


Рис. 3. Зависимость среднего времени пребывания автомобиля в очереди от требуемого расчетного количества постов и фактического количества постов в зоне ТО

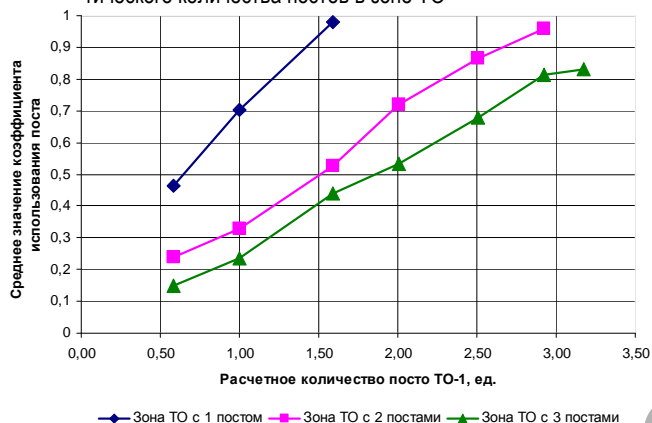


Рис. 4. Зависимость среднего значения коэффициентов использования постов ТО-1 от требуемого расчетного количества постов и фактического количества постов в зоне ТО

Количество обслуживаний за время моделирования незначительно отличается от годового количества ТО-1, определенного по типовой методике технологического расчета (см. табл. 3), что подтверждает соответствие выбранной модели реальной системе.

Заключение. Проведенный анализ методик моделирования средств обслуживания автомобилей позволяет рекомендовать для моделирования и оптимизации структуры зоны ТО автотранспортно-

го предприятия имитационные модели функционирования зоны ТО, как замкнутой многоканальной СМО с простейшими потоками.

Использование таких моделей дает возможность определить все необходимые данные для нахождения оптимального количества постов зоны ТО по критерию минимальных суммарных затрат на содержание производственного подразделения и потери прибыли от простоя автомобилей при выполнении проектирования или реконструкции автотранспортных предприятий.

Разработанные имитационные модели используются студентами специальности 1 – 37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей» для оптимизации структуры зоны ТО АТП при выполнении курсовой работы по дисциплине «Основы научных исследований и инновационной деятельности» и дипломного проекта.

Таблица 3. Количество выполненных обслуживаний ТО-1 за время моделирования

Расчетное число постов ТО-1	0,59	1,00	1,59	2,01	2,51	2,93	3,18
По технологическому расчету	188	292	468	594	761	883	959
Зона ТО с 1 постом	165	259	-	-	-	-	-
Зона ТО с 2 постами	169	255	411	540	667	-	-
Зона ТО с 3 постами	164	264	460	573	743	862	903

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Техническое обслуживание и ремонт автомобильных транспортных средств. Нормы и правила проведения: ТКП 248-2010 (02190). – Мн.: РУП «БелНИИТ «Транстехника», 2010. – 44 с.
2. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта: ОНТП-01-91. – М.: Росавтотранс, 1991.
3. Напольский, Г.М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания: учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.
4. Проектирование предприятий автомобильного транспорта: учебник / М.М. Болбас, Н.М. Капустин, А.С. Савич [и др.]; под ред. М.М. Болбаса – Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2004. – 528 с.
5. Кудрявцев, Е.М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.: ил.
6. Вентцель, Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Наука, 1988. – 208 с.

Материал поступил в редакцию 30.09.11

MONTIK S.V. The analysis of techniques of simulation of automobile service

Techniques of simulation of the automobile service, which grounded on queueing theory and a simulation modelling with system GPSS World use are considered. It is offered for simulation and optimisation of a zone of maintenance service of the enterprise of motor transport to use the simulation model of the closed multi-channel system of a queueing with the elementary streams.

УДК 546.62:620.193.4

**Строкач П.П., Яловая Н.П., Басов С.В.,
Халецкий В.А., Головач А.П.**

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ АЛЮМИНИЙСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ ПРИ ПОЛНОМ И ПЕРЕМЕННОМ ПОГРУЖЕНИИ В ПИРОФОСФАТНЫЙ ЭЛЕКТРОЛИТ

Введение. Алюминий и алюминийсодержащие сплавы по масштабам производства и применения в промышленности занимают одно из первых мест. Одно из самых важных свойств алюминийсодержащих сплавов – это высокая коррозионная стойкость, которая примерно в 20 раз превышает стойкость стали, что объясняется

Строкач Петр Павлович, к.т.н., профессор кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Яловая Наталья Петровна, к.т.н., доцент, директор института повышения квалификации и переподготовки кадров Брестского государственного технического университета.

Басов Сергей Владимирович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Халецкий Виталий Анатольевич, доцент кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Головач Анна Петровна, доцент кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.